

# 고속전철용 견인전동기의 특성과 국내외 개발 현황



강 도 현 (한국전기연구소 전력기기실  
선임연구원)

- '87. 2-'89. 2 한양대학교 전기공학과 석사
- '80. 12-'87. 1 현대건설(주) 대리
- '89. 2-현재 한국전기연구소 전력기기연구실  
선임연구원

## 1. 서 언

'70, '80년대의 경제발전과 '90년대의 고소득 시대로의 진입에 따른 교통수요의 급증과 시간 가치 중요성의 증가로 도시간 교통의 대량, 고속성을 요구하고 있으며, 국가경제활동의 주축을 이루고 있으면서 교통량이 가장 크고 그 증가율 역시 매년 증가하고 있는 경부축에 다가오는 2000년대에 예상되는 수송용량 부족 현상을 타개하기 위해 장기 투자계획안으로 고속전철이 추진되고 있다.

정부에서 선진고속전철 건설 3개국에 발송한 REP(Request for proposal)에서 차량과 신호설비중 50%가 국산화로 명시하였는데 견인전동기도 이 중의 한분야로 되겠으며, 기술이전에서는 기술전달자와 전수자사이에 정확한 기술내용, 기술수준 및 현황 파악이 이루어져야 바람직한 기술이전이 이루어 질것이다.

따라서 본고는 구동 System의 구조, 견인전동기의 특징, 견인전동기의 조건, 국내의 기술현황에 관해서 소개한다.

## 2. 구동 System과 견인전동기

최고속도 300Km/h, 승객 1000명 내외의 수송능력을 갖는 서울-부산간 고속전철은 기존의 기관차보다 견인력과 속도에서 2배이상의 능력을 갖추어야하므로 전장품의 성능에 높은 기술력과 신뢰성이 요구된다. 특히 견인전동기는 고속전철의 속도와 견인력을 좌우하는 구동시스템중 가장

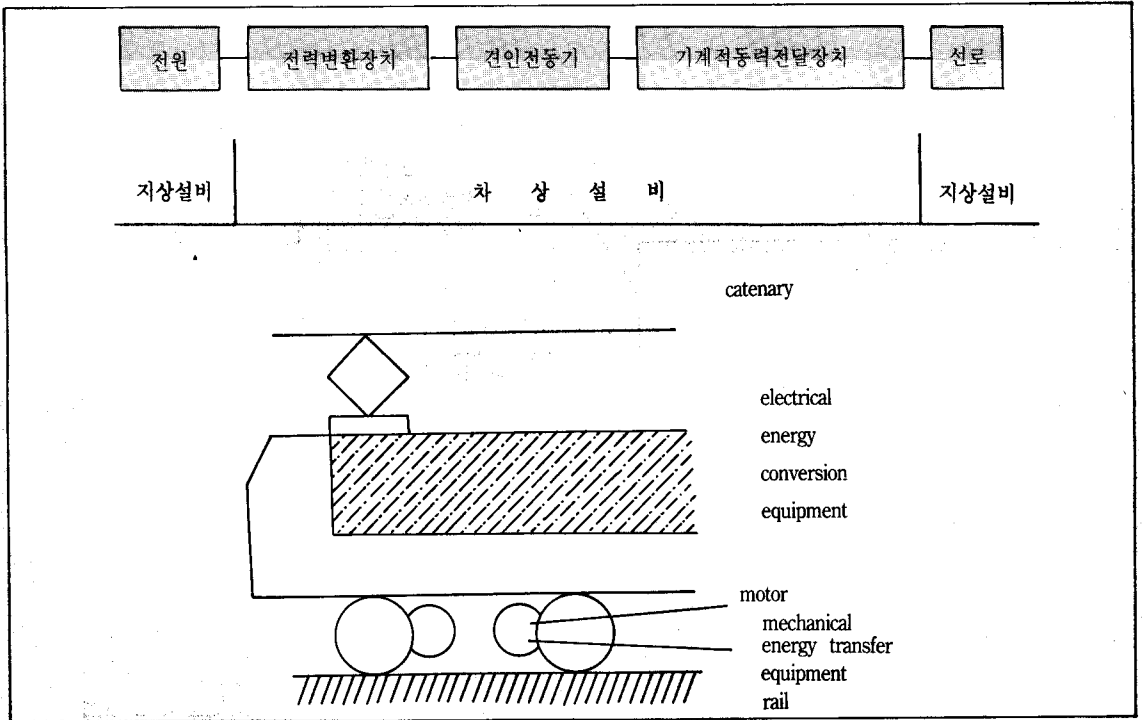


그림 1) 구동시스템의 구성

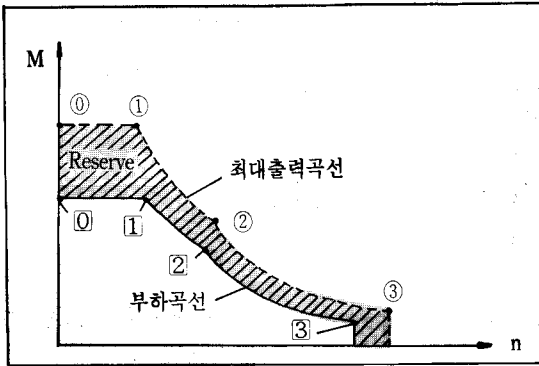


그림 2) 구동시스템의 예비율

중요한 역할을 담당하는 핵심부품으로 산업용 전동기와는 달리 크기, 무게 등의 제한이 있으며 내구성과 내진성이 크게 요구된다. 또한 전체구동시스템과의 조화가 중요하므로 전력변환장치 등의 설계시에도 전동기에 미치는 영향을 고려하여야 한다.

구동시스템은 크게 차상설비와 지상설비로 구분되며 그림 1과 같이 전원, 전력변환장치, 견인

전동기, 기계적 동력전달장치, 선로로 구성되며 서로 밀접한 관계를 갖고 있다.

그림 2는 일반적인 고속전철의 속도에 대한 부하곡선과 최대출력 곡선으로 실선은 부하곡선이고 점선은 최대출력 곡선으로 이 값의 차이는 예비출력을 나타내고 있다.

이러한 출력곡선에 적합한 전동기는 크게 VVVF 제어의 유도전동기와 직류전동기로 알려져 있다.

차량용 주 전동기로서는 지금까지 직류전동기가 사용되어 왔으나, 근년 대용량 고내압 GTO Thyristor의 개발과 Micro-computer에 의한 고도의 제어 기술 진보에 따라 주전동기로 3상 농형 유도전동기를 사용한 VVVF INVERTER 제어 STSYEM이 실용기에 접어들어 철도차량 기술자가 꿈꾸어온 주전동기의 무정류자화가 실현되었고 인버터 구동 유도전동기는 직류전동기에 비해 그림 3과 같은 특징이 있기때문에 고속전철 구동 System 모타의 주종을 이루고 있으나 다음과 같은 단점이 있으므로 이것에 대한 대책이 필요하다.

③ 운전주파수를 변화시킬때 전동기 각부에 공

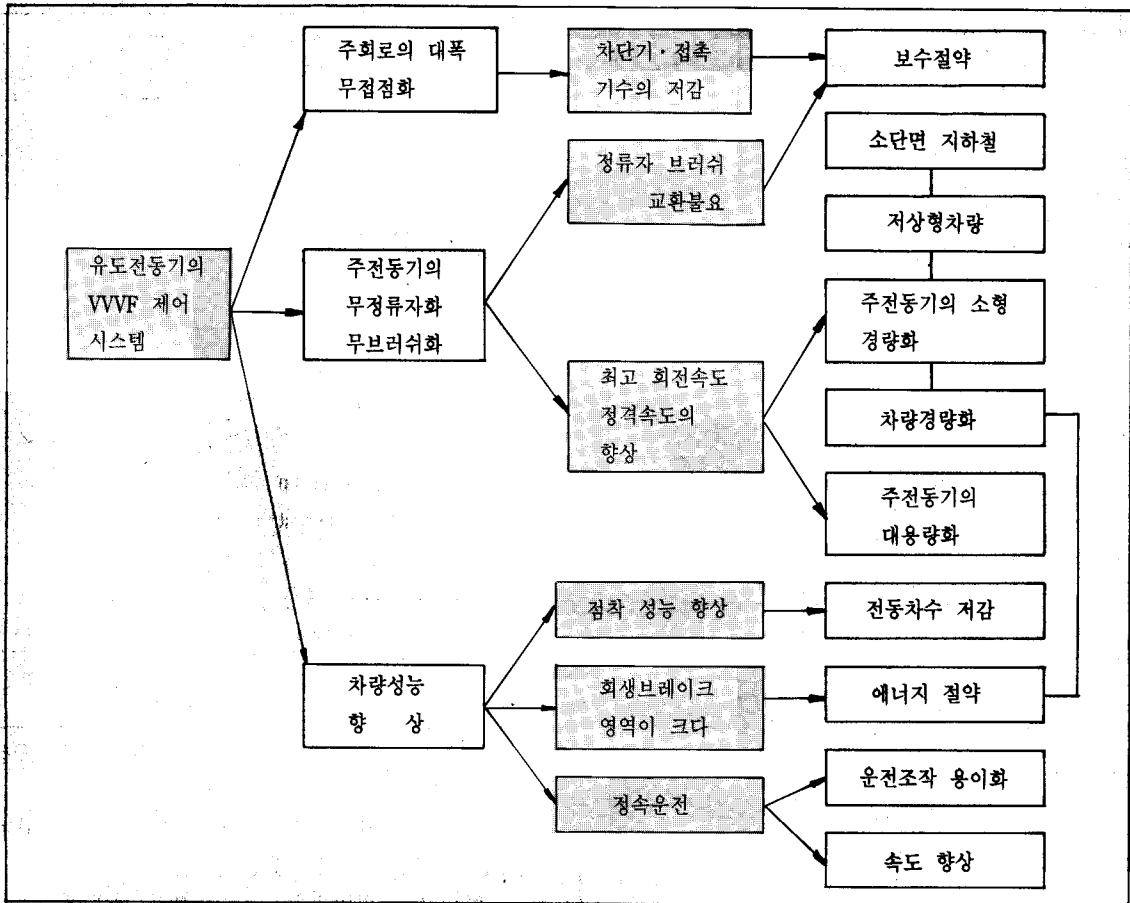


그림 3) 유도전동기 구동방식의 특징

진현상 등에 의해 전자진동소음

- ㉠ 맥동 토크가 발생하여 축에 비틀림 진동 발생
- ㉡ 전동기의 회전자 축단간 혹은 축과 베어링 사이에 발생하는 축전압
- ㉢ Surge 전압
- ㉣ 농형 유도전동기에서 전압과 전류에 포함된 고조파 성분에 의한 온도상승
- ① 유도장해

### 3. 견인전동기의 조건

#### 3.1. 일반 조건

견인전동기는 자신의 전기적 제원과 급전에서

차량까지 미치는 다음과 같은 영향에 대한 의존도를 고려해야 한다.

- ① 효율이 좋을것
- ② 가감속 성능이 높고, 고속에서의 특징도 좋을것
- ③ 점착성능이 높고, 점착한계까지 최대한 능력 발휘가 가능할것
- ④ 속도제어가 쉽고 ATO(Automatic train operation) 등에도 용이하게 대응할것
- ⑤ 소형 경량화 가능할것
- ⑥ 고속에서 정지까지 넓은영역에서 회생제동이 가능할것
- ⑦ 구동계 unbalance를 어느정도 흡수가능 할것
- ⑧ 신뢰성이 높을것

- ⑨ 소음이 적을것
- ⑩ 보수비용이 적을것
- ⑪ 승차감이 좋을것

### 3.2. 산업용 유도전동기와 차이점

차량용 주전동기로서 사용하는 농형 유도전동기는 일반 산업용 유도전동기와 비교하면 사용환경과 운전 조건등에 많은 상이점이 있는데 기본적으로는 다음과 같다.

- ① 전동기는 열차에 직접 설치되는 것인데 레일의 연결부분과 point의 통과시에는 큰 진동과 충격을 받는다.
- ② 한계의 Inverter장치에 의하여 복수의 전동기가 병렬 운전 된다.
- ③ 동일한 Inverter로 병렬 운전되는 전동기의 차륜경에 차이가 있는 경우에는 각 전동기의 회전속도가 다르고 torque 및 전류의 unbalance가 생긴다.
- ④ 사용되는 회전속도 범위가 매우 넓다.
- ⑤ 사계절을 통하여 환경 변화가 심하고 옥외에 사용되므로 먼지와 우수의 침입을 받기 쉽다.

## 4. 견인전동기의 국내외 개발 현황

### 4.1. 국내

국내의 차량용 전장품 기술발전 과정을 보면, 선진국은 차량용 전장품 업체에서 발달되어 왔으나 한국은 차량업체를 중심으로 외국기술을 도입하여 10-15년에 걸쳐 국산화 및 기술개발이 진행되었다.

세계 최초로 고속전철은 일본이 1964년에 운행되었고, TGV가 1967년(TGV-PSE 1981년) 독일이 1977년(ICE 1991년) 200Km/h 이상의 고속전철을 운행하였으나, 이 시기에 전철은 극히 미비하다시피 했다.

자동차와 항공이 특히 발달한 미국을 제외한 구라파 및 일본 등의 철도의 전철화가 40%이상인 점을 감안하면 전철화의 정도가 그 나라의 국력과

비례하여 왔다고 볼 수 있다. 반면 우리나라는 선진 각국에서 고속전철의 개발시기에 산업선을 시작으로 중앙선, 태백선 등에 기관차 방식 전철이 적용되어 왔다. 이때까지도 한국의 철도차량용 전장품 제작업체는 차량용의 배전반류, 변압기, 정류기, contactor류, 신호설비 일부 등 부품위주로 개발하였으나 이 또한 관련기술의 성장미흡으로 업체의 기술수준이 낙후되었다고 볼 수 있으며 차관에 의한 외국차량의 도입에 따라 engineering 능력의 향상과는 거리가 멀었다고 볼 수 있다. 또한 차량용 전장품의 system engineering 능력 확보면에서 특히 국내업체가 낙후한 이면에는 철도차량용 전장품 시장의 불연속성과 협소한 시장으로 기업에서의 기술개발 투자가 미흡했다고 볼 수 있다. 기술인력면에서 보면 전철 기술인력 수요가 낮아 학계 등에서 관심이 저조한 편이었으며 이로인한 전철전장품 제조기술 능력 또한 저조했다.

견인전동기의 경우 전기기관차와 전동차의 150 KW-700KW 직류 전동기가 제작된 바 있으며 자체설계 제작수준은 상당하다. 그러나 고속전철에 사용되는 동기전동기 또는 유도전동기의 제작 경험은 바탕으로 차후 도입될 지하철 5, 6, 7, 8호선의 교류전동기 구동방식이 설계, 제작, 시험에 밑바탕이 되리라 판단된다.

고속전철 기획사업단에서 발송한 REP(입찰제 의요청서)에도 추진시스템은 유도전동기로 명시되어있으며 견인용 유도전동기는 산업용 유도전동기에 비하여 단위 무게당 출력, 크기, 무게, 진동, 소음 등에서 제약을 받기 때문에 소형경량화, 고출력, 신뢰도 측면에서 보다 원천적인 기술개발 노력이 요구된다.

한편, 전동기 설계에는 전류의 형태, 운전형태, 전압, 최대허용전류, 용량, 회전수, 기동 torque, 최대 torque, 정격 torque, 크기 등과 같은 기본 data가 필요하다. 상기 data는 전체 system으로부터 정해지는 data로서 이러한 data 설정기술은 차후 한국형 고속전철의 개발에 대단히 중요한 의미를 갖는다. 전체 구동 system과 견인전동기와의 관계에 따른 요소기술은 국내 기술이 대단히 미비한

표 1) 국내 견인전동기 기술 현황

내용	과 거	현 재	미 래
종류	직 류 기	유 도 기	유도기, 동기기형 견인전동기
기술 수준	<ul style="list-style-type: none"> <li>120-160kW 생산 (전동차용)</li> <li>500-1000kW 생산 (기관차용)</li> <li>설계·제조기술 (제조기술-확보단계)</li> <li>(설계기술-도입단계)</li> <li>절연(H중) 제작</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>산업용은 보편화</li> <li>견인전동기는 도입단계로 서울 5호선에 추진중</li> <li>제조기술(절연, 권선, 정밀가공) 부족</li> <li>기본설계 취약</li> <li>절연물(H중) 일부수입 의존</li> <li>베어링 수입</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>설계기술 확보</li> <li>C중 절연기술 확보</li> <li>Ststem 기술과의 Matching 기술확보</li> </ul>

표 2) 견인 및 산업용전동기 국내현황표

구분 항목	견인전동기	산업용 유도전동기
적 용 분 야	서울지하철 1~4호선 부산지하철 1호선 디젤전기기관차용	PUMP, COMPRESSOR BLOWER, FAN
용 량	120KW, 150KW, 162KW 165KW, 655KW, 1000KW	4,000KW급 제작실적보유
Type	직류전동기	유도전동기
제 조 회 사	대우중공업 현대정공 현대중전기	효성중공업 이천전기 현대중전기
기술도입선	Hitachi, GEC 미쯔비시	Hitachi, W·H Toshiba
기술도입형태	Technical Agreement	Technical License
기 술 수 준	<ul style="list-style-type: none"> <li>외국의 기술협조로 생산기술 소화</li> <li>기초설계기술은 개발 추진단계</li> <li>원자재의 절연물 일부 수입</li> <li>견인용 유도전동기 기술은 미보유</li> <li>전기설계 부분 일부 전산화</li> <li>일본업체에 기술적으로 종속</li> <li>규모가 작고 불규칙한 시장 수요로 자체적 기술개발 노력 미흡</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4,000KW급 까지 국내설계기능</li> <li>신뢰성문제로 기술제휴에 의존</li> <li>절연물(재료비의 7-8%)일부수입</li> <li>전기설계는 전산화</li> <li>해석(온도, 자계분포) 기술 미흡</li> <li>진동, 소음 등의 문제는 이론및 시험설비 부족</li> <li>생산기술(정밀가공, 절연처리) 미흡</li> </ul>

표 3) 국산화 문제점 및 대책

품 목	문 제 점	대 책
견인전동기	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전기설계 미흡</li> <li>· 기계 설계 부족</li> <li>· 제작기술(권선제작, 절연합침, 기계가공정도, 조립)이 부족</li> <li>· 일부 절연물, 베어링 등 수입</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기술도입 생산                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- 반제품(SKD) 조립</li> <li>- 일부부품 수입, 조립</li> </ul> </li> <li>· 공동제작, 시험, 관리</li> <li>· 기술훈련 : 기사, 기능공 기술연수 및 해외기술자 초빙</li> <li>· 절연물, 베어링 전문업체 육성</li> <li>· 기술계휴에 의한 자료 입수</li> </ul>

표 4) 견인전동기의 핵심기술 및 파급분야

품 목	문 제 점	대 책
견인전동기 (동기기, 유도기)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전기설계</li> <li>· 기계, 구조설계</li> <li>· Core Punching &amp; Matching</li> <li>· 권선제조</li> <li>· 합침 및 절연</li> <li>· Rotor bar 재질</li> <li>· 회전자구조(원심력 탈출 방지)</li> <li>· 정밀가공</li> <li>· 프레임 제판 및 용접, 구조</li> <li>· 소음 및 진동</li> <li>· 냉각</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 금속압연용 Mill Motor</li> <li>· 발전소용 Generator 및 Exciter</li> <li>· 지하철용 견인전동기</li> </ul>

실정이며 차후 많은 연구가 따라야 할 것이다.

#### 4.2. 국외 현황

POWER ELECTRONICS와  $\mu$ -ELECTRONICS의 발달과 더불어 종래 저항차에 대신하여 초퍼차가 일반화가 되었고, 수년전부터 인버터차가 급속히 증대되고 있다. 이로인해 4상한 초퍼차용의 직류 분권 전동기와 인버터차용 유도전동기의 생산이 급증하고 있는데 고속전철용 견인전동기는 유도기가 주로 사용되고 있다.

차량용 주전동기인 견인전동기는 기초 설계부터 SYSTEM 요구사양에 따른 설계 변경 능력을 보유하고 있으며 실시험 부하설비도 갖추고 있다.

일반산업용 전동기에 비해 매우 엄격한 사양 즉, 제한된 면적에서 대용량의 전동기를 구성하고, 엄격한 환경, 사용조건하에서 높은 신뢰성 확보, 게다가 무보수화 등으로 되어야 한다. 이를 위해 통풍해석, 온도상승해석, 자속분포해석 등과 같은 해석기술과 새로운 절연 SYSTEM을 개발하여 견인전동기의 소형화, 내구성 증대 및 신뢰성 향상에 기여하고 있다. 아울러 구조적 측면에서도 유지보수의 경감을 위하여 지속적인 연구가 이루어지고 있다.

표 5는 해외 전철 발달사인데 고속전철의 대표적인 TGV, 신간선, ICE는 제각기 독자적인 기술로 견인전동기를 개발해왔고 TGV는 동기전동기, 신간선 및 ICE는 삼상 농형 유도전동기를 채택하고

표 5) 전철 발달사

연속	속도	Type	모터	노선	국가	비고
1903	210.2		삼상유도기	Marinfelde-Zossen	독일	시험
1931	230		Propeller	Berlin-Hamburg	독일	시험
1936	200	E19	단상교류기	Berlin-Hamburg	독일	상업운전
1936	205	05002	증기기관	Ludwigslust Wittenberg	독일	상업운전
1938	203	Mallard	증기기관		영국	시험
1939	225	E19	단상교류기		독일	시험, 영업속도 160
1955	331	CC7107 BB9004	직류기	Bordeaux-Dax	불란서	시험
1963	200	E10	단상교류기	Forchhem Bamberg	독일	시험
1964	210	신간선	직류기	도쿄-오사카	일본	상업운전
1965	200	Intercity A'ra		Munchen-Augusburg	독일	상업운전
1972	318	TGV001	가스터어빈	Paris-Lyon	불란서	시험
1981	380	TGV	동기기	Paris-Lyon	불란서	시험, 270Km/h영업속도
1984	302	Transrapid	선형모타	Emsland	독일	시험
	265	E120	삼상유도		독일	200Km/h 영업속도
1985	283	E103		Hannover-Dortmund	독일	시험(측정차)
1988	406.7	ICE	삼상유도	Fulda-Wurzburg	독일	시험
1990	270	신간선	삼상유도	동경-오사카	일본	시험
1990	515.3	TGV-A	동기기	Paris-르망	불란서	시험

있는데 유도전동기를 채택하고 있는 신간선, ICE를 주로 언급하기로 한다.

일본에서는 1964년 동해도 신간선이 개통된 이후 주로 환경문제 때문에 개통당시의 최고속도 210 Km/h에서 10Km 증가된 220Km/h에 머물러 있다. JR(동해 여객 철도)에서는 Super 히카리호 명명된 270Km/h급의 고속전철을 장래 동경-오사카간에 2시간 30분 대로 운행할 계획을 갖고 현재 획기적으로 설계된 경량 차량을 제작하여 1990년 3월에 완성하고 시험중이며 주 전동기를 직류 전동기에서 유도전동기로 변경하였다.

일본에서는 1984년도부터 개발이 시작되어 해가

표 6) 유도전동기 중량 변화추이

제작년도	용량(kW)	중량(kg)
'84	330	750
'85	330	656
'90	300	450

표 7) 신간선 차량용 주전동기 비교

항목	0계	100계	300계
출력(kW)	185(100%)	230(124%)	300(162%)
중량(kg)	876(100%)	825(94%)	450(51%)
외경(mm)	580(100%)	580(100%)	484(83%)
길이(mm)	743(100%)	715.5(96%)	489(66%)
체적(m <sup>3</sup> )	0.196(100%)	0.189(96%)	0.090(46%)
단위출력당 체적(m <sup>3</sup> )	1.06×10 <sup>-3</sup> (100%)	0.82×10 <sup>-3</sup> (77%)	0.3×10 <sup>-3</sup> (28%)
단위출력당 중량(kg)	4.74(100%)	3.59(76%)	1.50(32%)

갈수록 경량화되고 있는데 표 6은 신간선 견인 모타의 경량화 추세를 나타내고 있다.

또 현재 개발중인 300계 신간선과 운행중인 JR 동해신간선 차량의 주전동기 비교표를 표 7에 보이고 있는데 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

① 유도전동기 중량은 수년간 40% 정도 감소

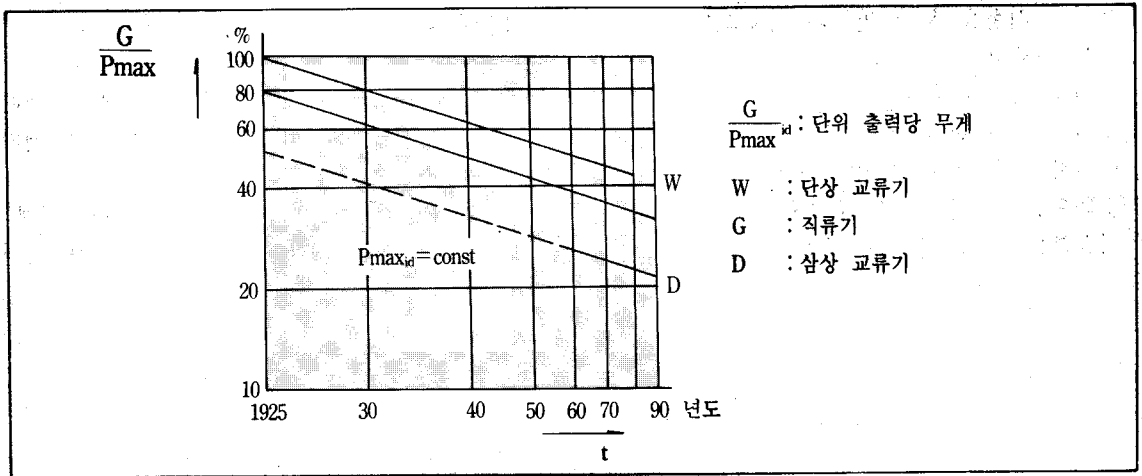


그림 4) 년도별 견인전동기 경량화 추세(독일)

하였다.

- ② 향후 유도전동기를 사용하는 경험실적이 증가할수록 더욱 경량화할 요소가 있다. (5년 사이에 설계방법이 극단적으로 변화하였다.)

독일의 경우 철도분야에서 세계 최초로 1879년 시속 18Km/h의 전기기관차를 발명한 후 전철 기술분야에서 선두의 자리를 지켜오고 있는데 근본적인 이유는 주로 동력추진 장치의 핵심인 견인전동기와 전력변환기술에서 세계 최고기술을 보유하고 있었기 때문이다.

그림 4는 독일에서 견인모터의 경량화 추세를 보이고 있는데 최근 설계 제작된 ICE 견인전동기의 제원은 다음 표 8과 같다.

## 5. 결 언

본고는 견인전동기의 형태, 일반조건, 산업용 전동기와 차이점 및 국내외 현황에 대해서 언급하고 있는데 견인전동기로서의 유도전동기 국내 기술 수준은 아직 설계 및 생산경험이 없기때문에 요소기술을 현황을 정확히 파악할 수 없는 상태이나 현재 산업용 전동기의 설계, 제작, 시험기술을 보면 전체 System과의 연관기술을 제외한 전동기만의 설계, 제작, 시험기술 및 설비는 상당한 수준이라 하겠다. 그러나 자체 연구를 통한 설계

표 8) ICE 견인전동기 사양

type	: 삼상 농형 유도전동기
극 수	: 4
정격출력	: 1250KW
정격전압	: 2050V
정격전류	: 415A
결선방법	: Y
회 전 수	: 1535 RPM(52HZ 시) 최대회전수 4032 RPM(130 HZ시)
역 율	: 0.88
효 율	: 96%
냉각방식	: 강제통풍식
절연등급	: F
무 게	: 2010kg
stator inner diameter	: 400mm
stator length	: 480mm
면적당 출력 torque	: 1.5 Nm/cm <sup>2</sup>
전기자 주변회전속도	: 32m/s
면적당 출력	: 0.2kW/cm <sup>2</sup>
무게당 출력 torque	: 4.0Kw/kg
전력회생율	: 10%

및 제작의 경험이 없이는 충분한 기술축적을 기대하기 어려우므로 기술이전을 받기전부터 사전 연구가 선행되어야 하며 prototype의 설계, 제작



그리고 시험을 통한 연구와 기술축적이 이루어져야 하겠다.

현재 정부가 추진중인 경부고속전철사업은 낙후되어 있는 견인전동기 국내기술을 비약적으로 발전시킬 수 있는 계기가 되어 이러한 기술의 습득으로 날로 높아가는 무역장벽을 뚫을 수 있는 기술력을 구비할 수 있는 좋은 기회가 될 것이다.

### 참고문헌

- [1] “한국형 고속전철 및 자기부상열차 개발을 위한 기술 연구 준비사업” 보고서, 1991. 3 한국전기연구소
- [2] “고속전철의 기술이전 및 국산화 개발 정책”, 1991. 8, 대한전기학회 고속전철기술 조사위원회